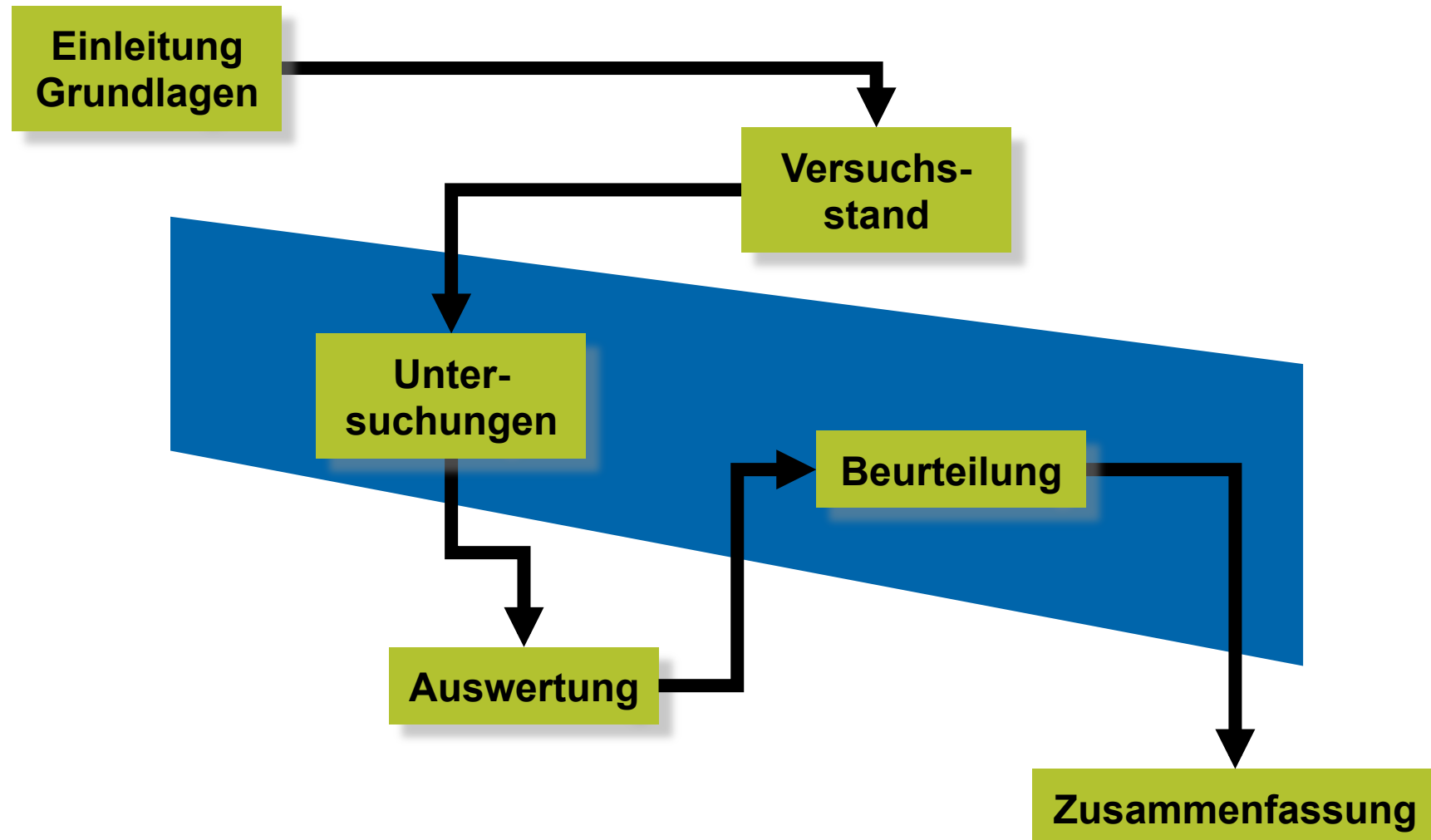


Aufnahme, Auswertung und Beurteilung rheologischer Parameter zur Auslegung und Simulation von Fördereinheiten sowie Rühraggregaten in Biogasanlagen

Dipl.-Ing. (FH) C. Koll



Modell des Fließens einer Flüssigkeit zwischen zwei planparallelen Platten

- Schubspannung: Unter einer tangentialen Kraft F an der oberen Platte mit der Fläche A , kommt die im Spalt befindliche Flüssigkeit zum Fließen.
- Schergeschwindigkeit (Geschwindigkeitsgefälle): Die wirksame Schubspannung lässt die Flüssigkeit fließen. Es ergibt sich ein Geschwindigkeitsabfall in der laminaren Schichtenströmung.

Schubspannung

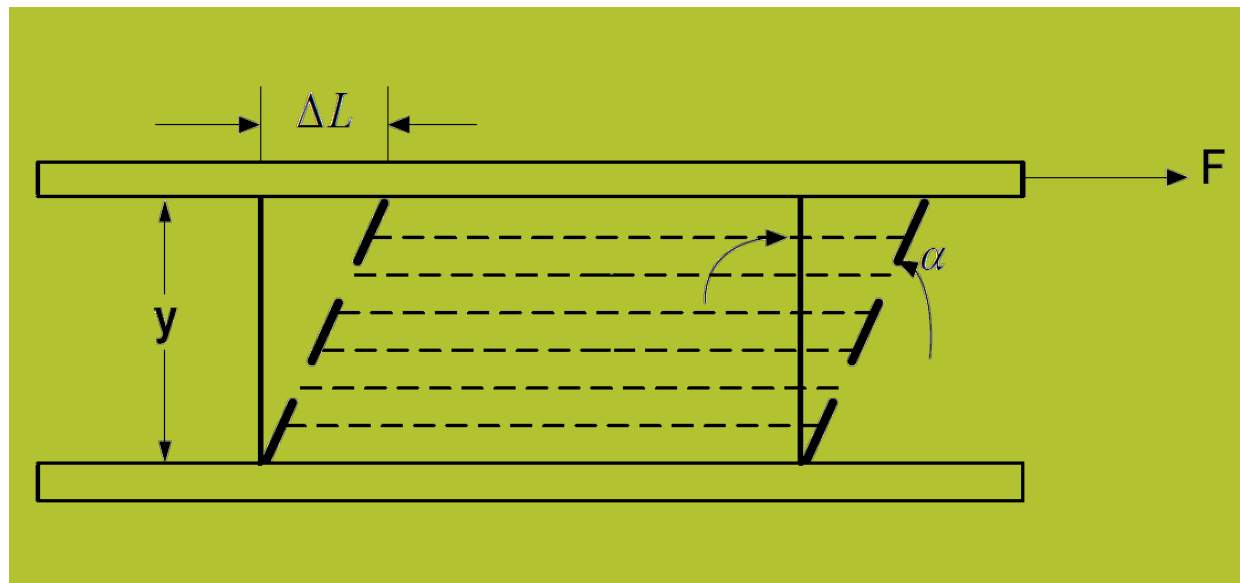
$$\tau = \frac{F}{A} [Pa]$$

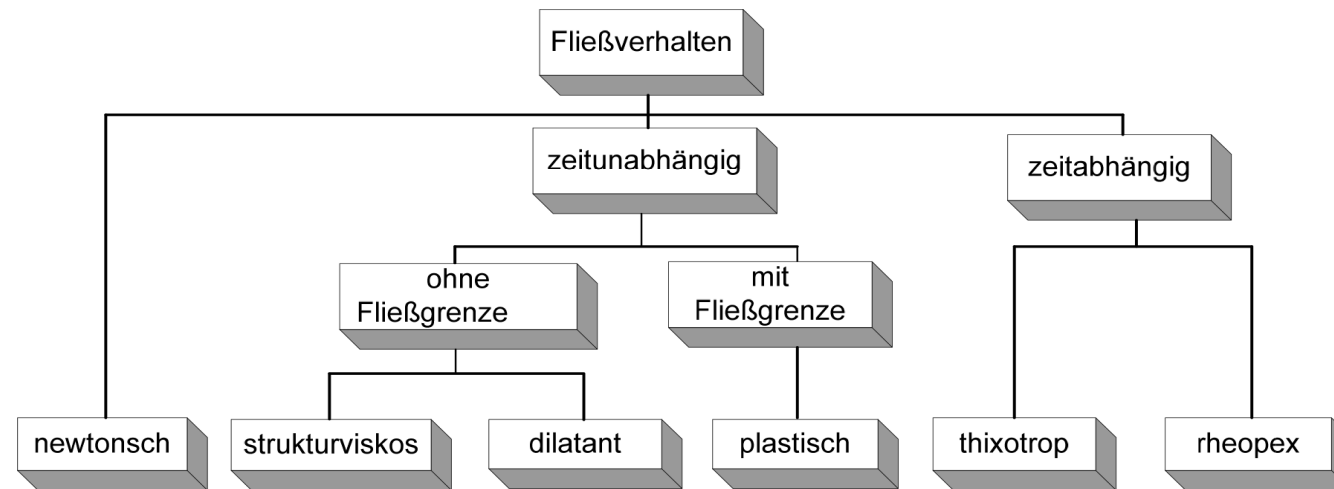
Schergeschwindigkeit

$$\dot{\gamma} = \frac{dw}{dy} [s^{-1}]$$

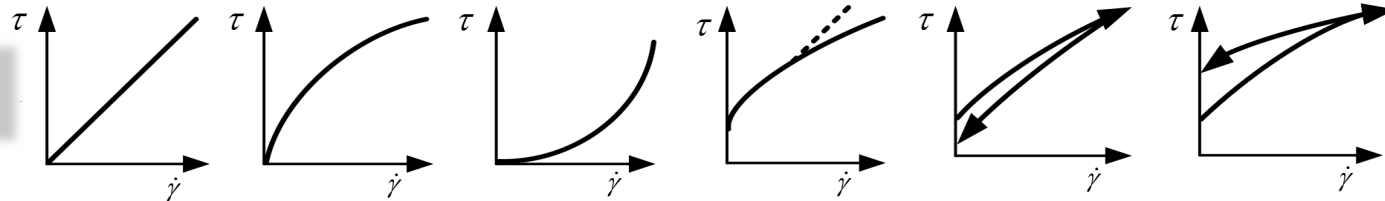
dynamische Viskosität

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} [Pas]$$

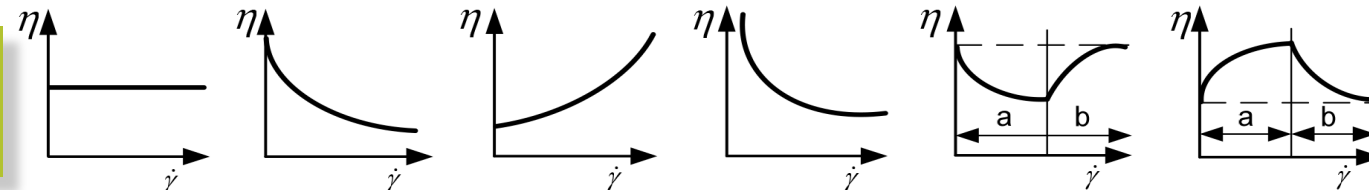




Fließkurven



Viskositätskurven



Wasser

Stärkebrei

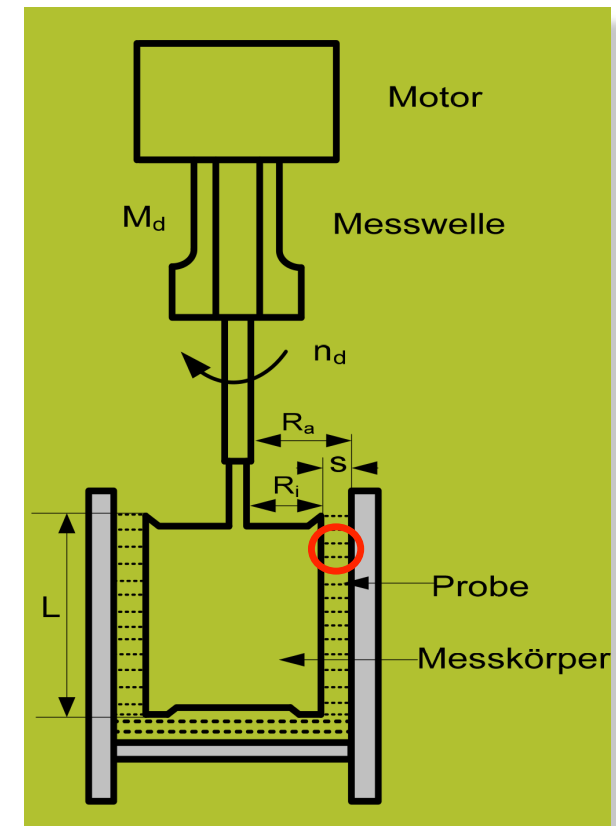
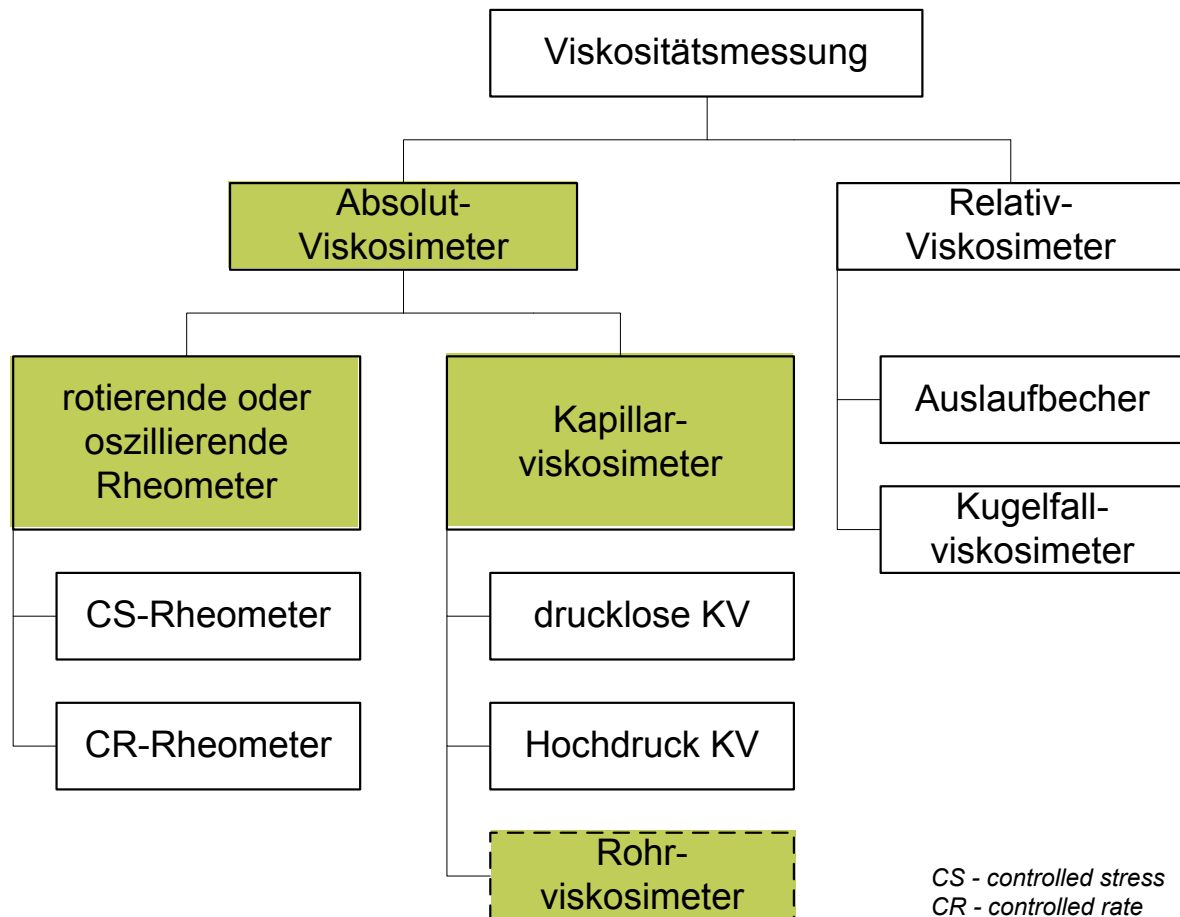
Ketchup

Blut

Wandfarbe

Seifen-Solen

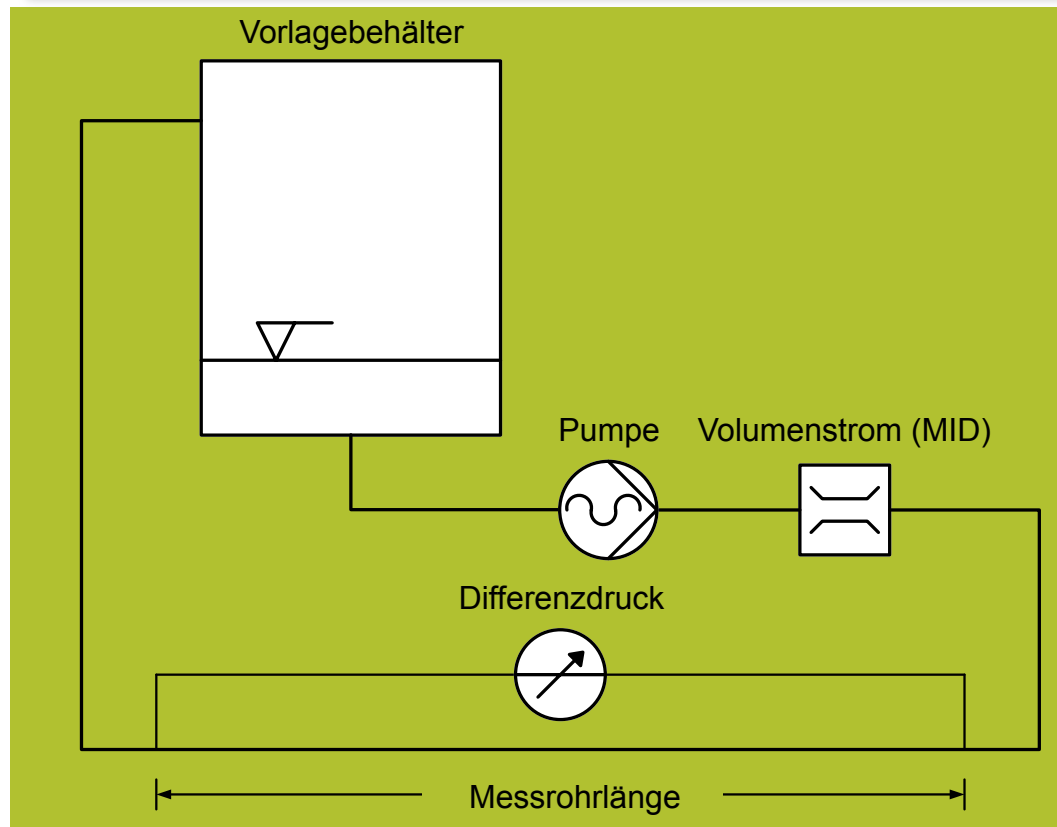
Fließverhalten von Flüssigkeiten, Emulsionen und Suspensionen, verändert nach Zogg (1987) in Tajouri (2009)



Prinzipische Skizze eines Rotationsviskosimeters, Tajouri (2009)

Grundsätzliche Messprinzipien von Kapillarviskosimetern:

- Messung des Volumenstroms bei gleicher, vorgegebener Druckdifferenz
- Messung der Druckdifferenz bei konstantem Volumenstrom

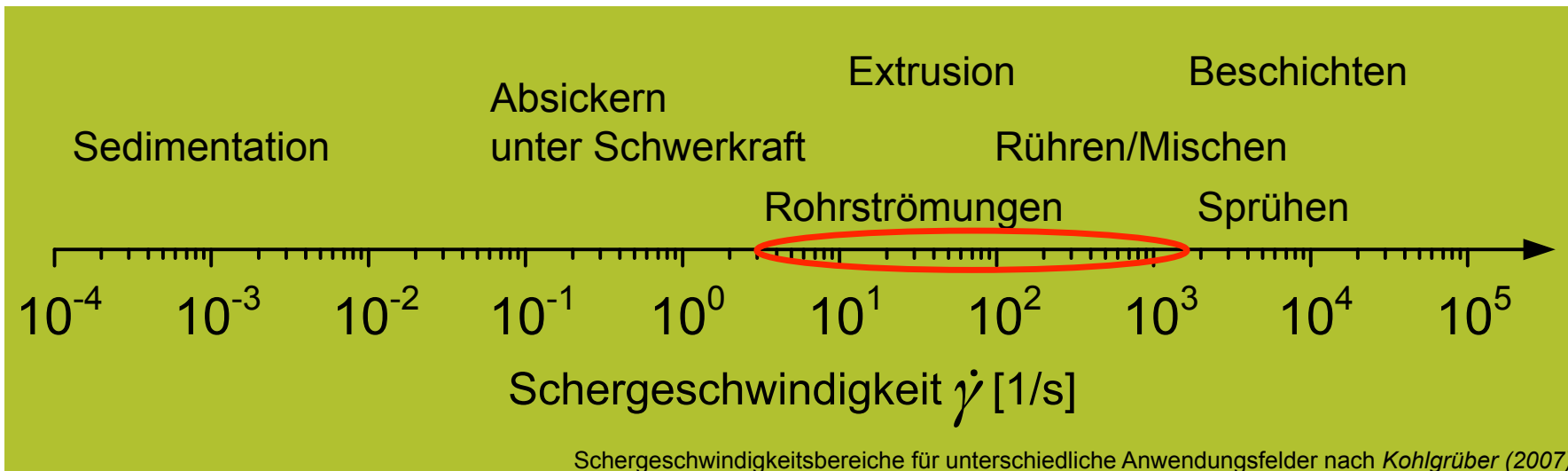


linearer Druckabfall über Messrohrstrecke

- Messrohlänge beeinflusst den minimalen Differenzdruck (Anforderung Messtechnik)

Rohrleitungsquerschnitt & Fördervolumenstrom

- Begrenzung des Schergeschwindigkeitsbereiches

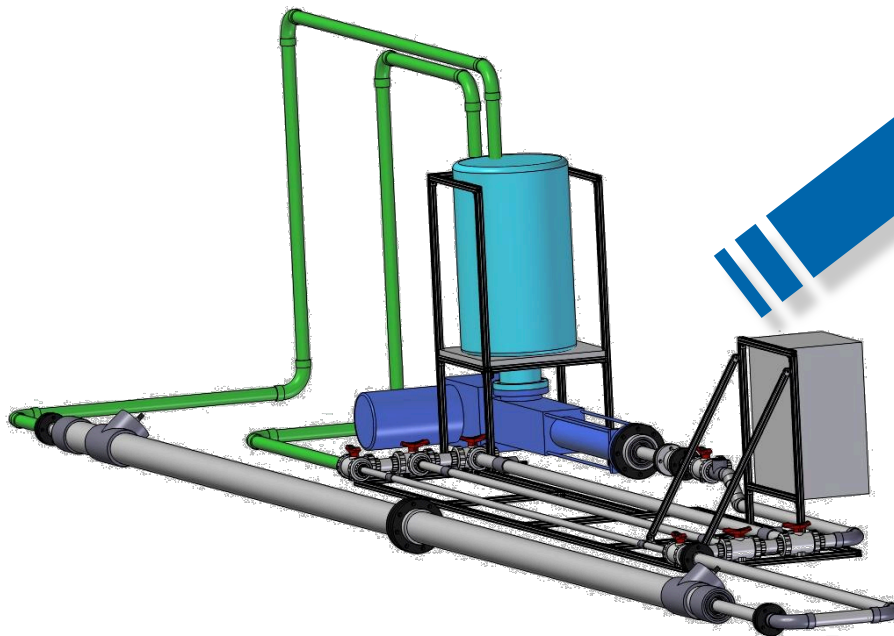


Intervall der Schergeschwindigkeit

$$1 < \dot{\gamma} < 1600 \text{ [1/s]}$$

Nennweite	Schergeschwindigkeit (Wand) [$1/s$]	
	1,152 m ³ /h @ 6Hz	9,288m ³ /h @ 50Hz
DN25	162,0	1305,9
DN32	82,9	668,6
DN40	42,2	339,9
DN50	21,2	170,7
DN65	11,9	95,7
DN80	7,3	58,5
DN100	3,9	31,8
DN125	2,7	21,7
DN150	1,3	10,4
DN200	0,4	3,3
DN250	0,2	1,7
DN300	0,1	1,0

- Drehschemelanhänger (bis 2,7t)
- Exzentrerschneckenpumpe (7,5 kW, <10m³/h, TS<16%, pulsationsarm)
- 4 Messrohrstrecken (DN25, DN32, DN50, DN150)
- Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung
- 5 Differenzdrucksensoren
- beheizte Vorlage
- Ansteuerung & Visualisierung mit LabView



Versuchsvorbereitung

- horizontale Verortung Versuchsstand
- luftblasenfreie Befüllung der Druckschläuche mit Wasser
- manuelle Probennahme & Befüllung der Vorlage
- Kreislaufförderung
- Kalibrierung der Drucksensoren
- Vorgabe Pumpenfrequenz (Schrittweite) und Haltezeit
- Start der Messung



Parameter

Versuchsname (Eingabe vor Versuchsstart)

aktive Schnittstelle
COM3

Schrittweite in %
1

Minute(n) pro Schritt
1

Versuchslaufzeit [min]
0

DN25
☒

DN 50
☒

DN 32
☒

Vorlauf
☒

Steigung Sensor Eins
12,5

Steigung Sensor Zwei
12,5

Steigung Sensor Drei
0,051

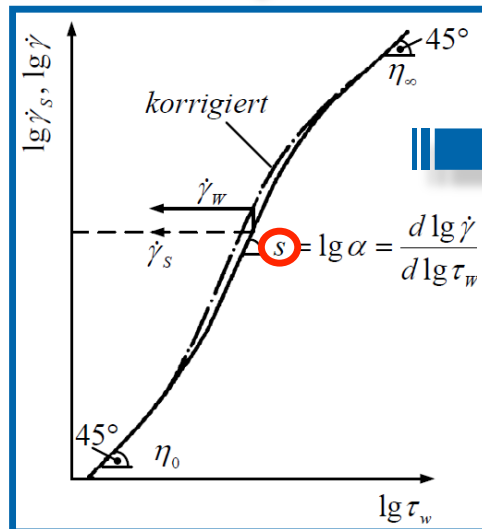
Steigung Sensor Vier
0,25

Schubspannung

$$\tau = \frac{\Delta p r_i}{2L}$$

scheinbare Schergeschwindigkeit

$$\dot{\gamma}_s = \frac{4\dot{V}}{\pi r_i^3}$$



Ermittlung der wahren Schergeschwindigkeit nach Pahl et al. (1991)

wahre Schergeschwindigkeit

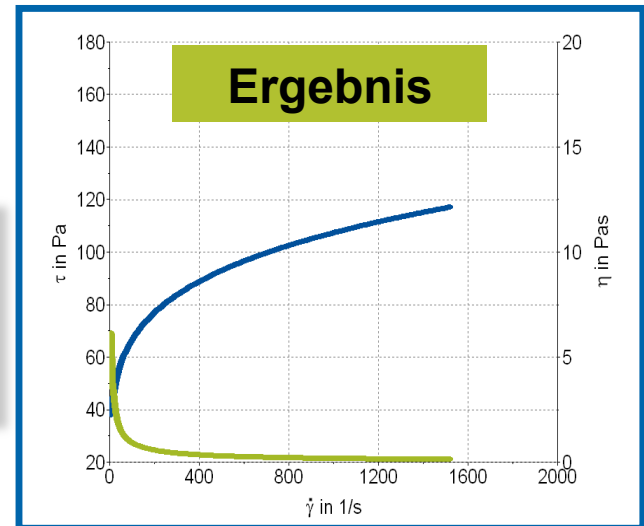
$$\dot{\gamma}_w = \frac{\dot{\gamma}_s}{4} (3 + s)$$

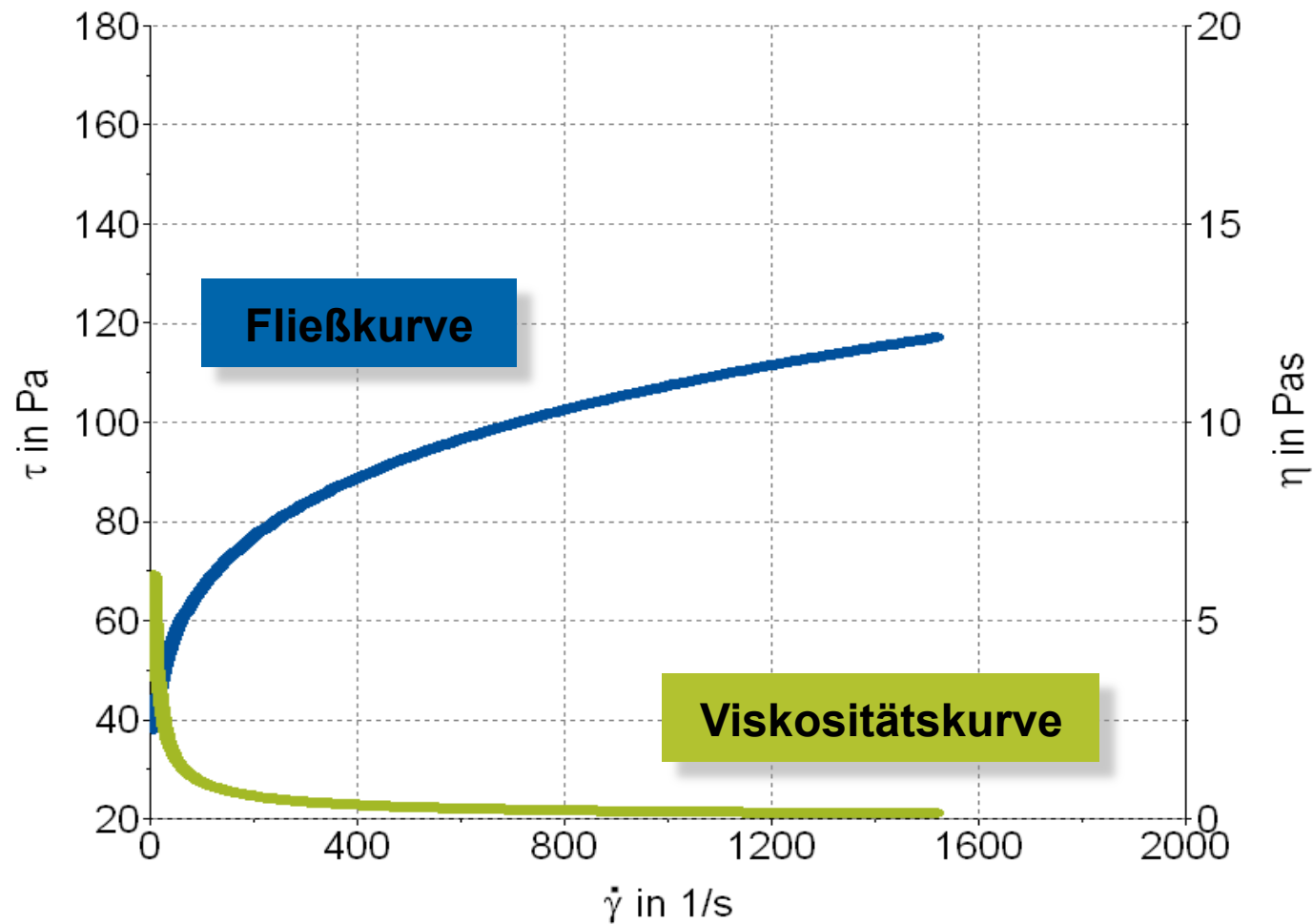
Darstellung und Approximation des Fließverhaltens mittels Potenzgesetz

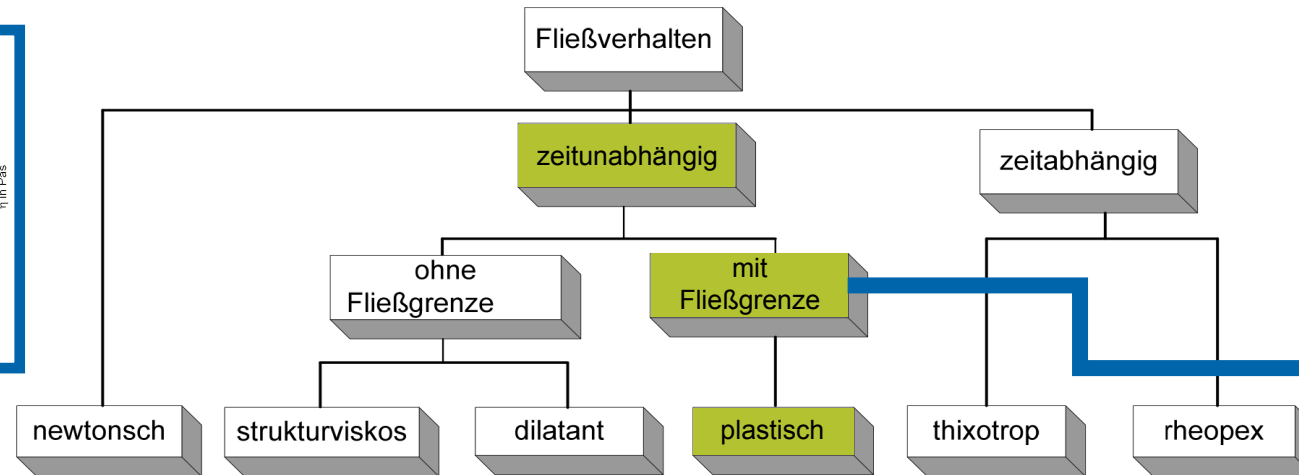
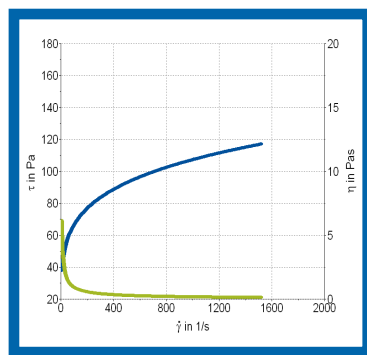
$$\tau = K \dot{\gamma}^m$$

$$\eta = K \dot{\gamma}^n$$

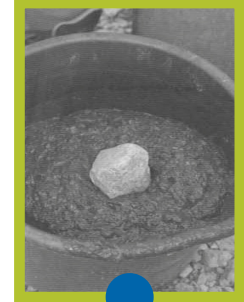
Ergebnis





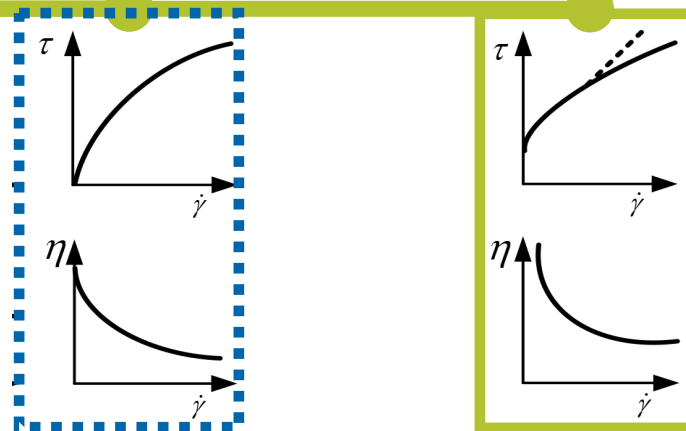


“Stein auf Gärsubstrat“
Kube et al. (2011)



Fließkurven







Viskositätskurven

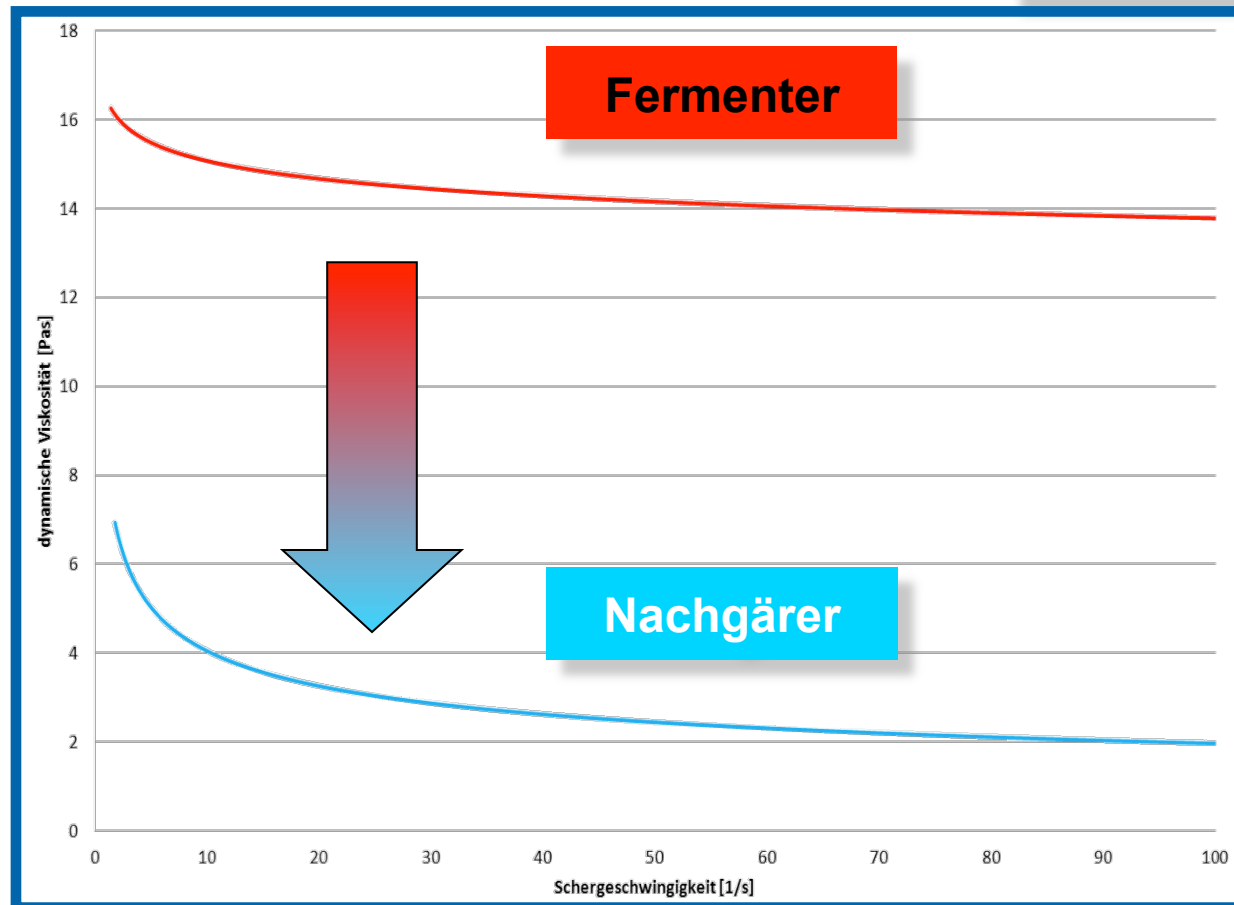


Biosuspensionen

Auszug aus „Fließverhalten von Flüssigkeiten, Emulsionen und Suspensionen“, verändert nach Zogg (1987) in Tajouri (2009)

Viskositätskurven

	Wasser	TR	oTR	HRT
	[Masse- %]	[Masse- %]	[Masse- %]	[Tage]
Fermenter	90,06 	9,94 	7,53 	38
Nachgärer	91,10 	8,90 	6,37 	35



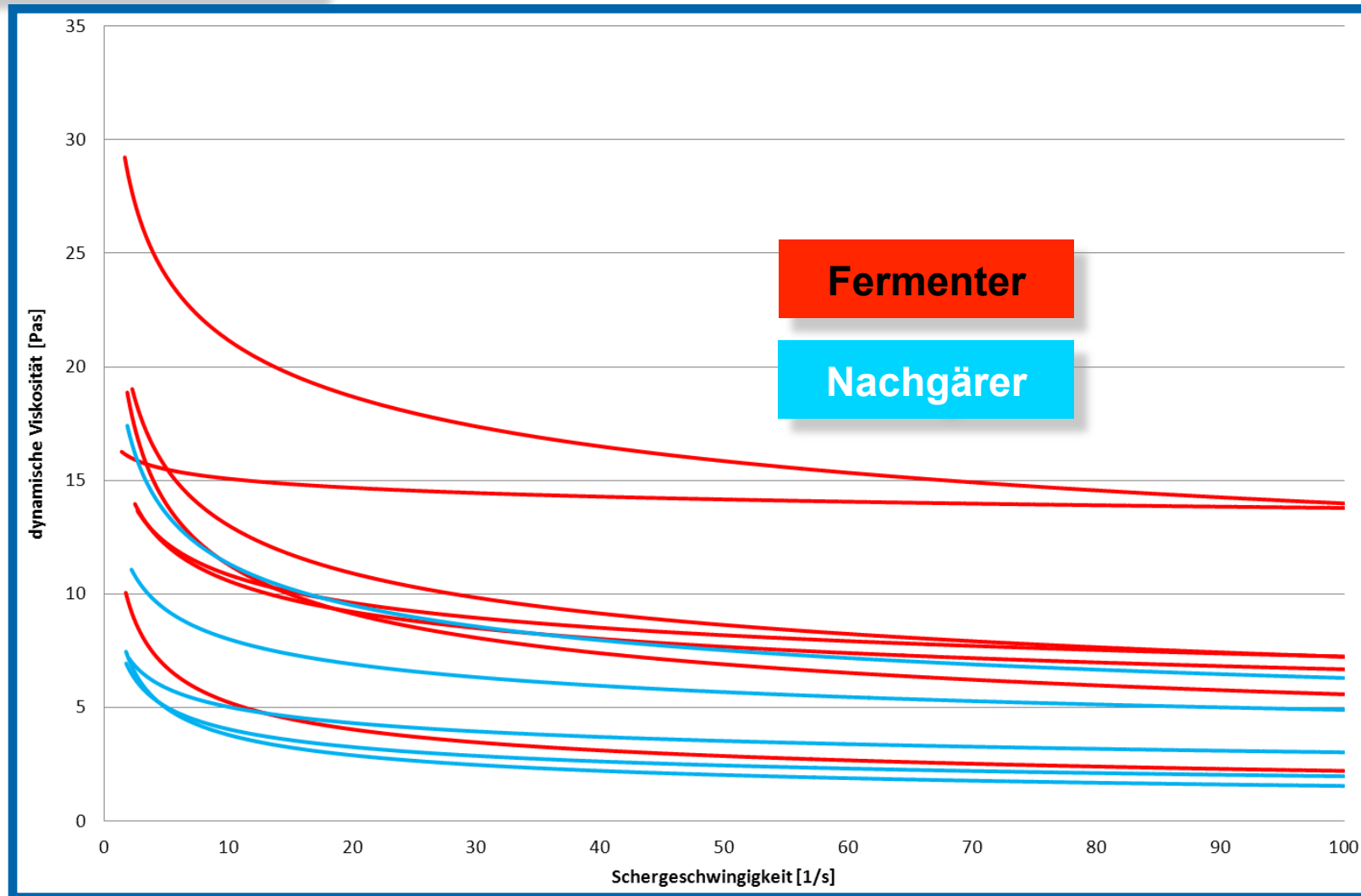
Substratzusammensetzung

Substratart	[Masse - %]
Maissilage	47,20
Gülle	33,33
Rindermist	16,67
Silagemix	2,80

Fermenter vs. Nachgärer

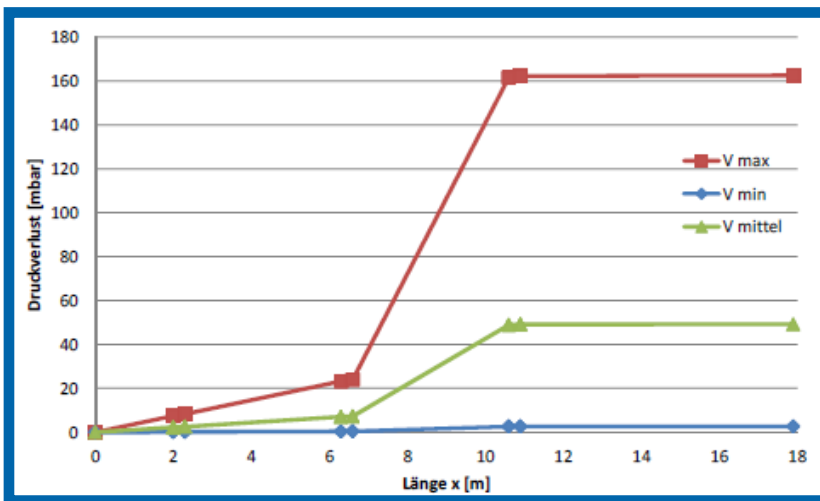
- Abnahme oTR
- Zunahme Wasseranteil
- Zunahme Fließfähigkeit

Viskositätskurven



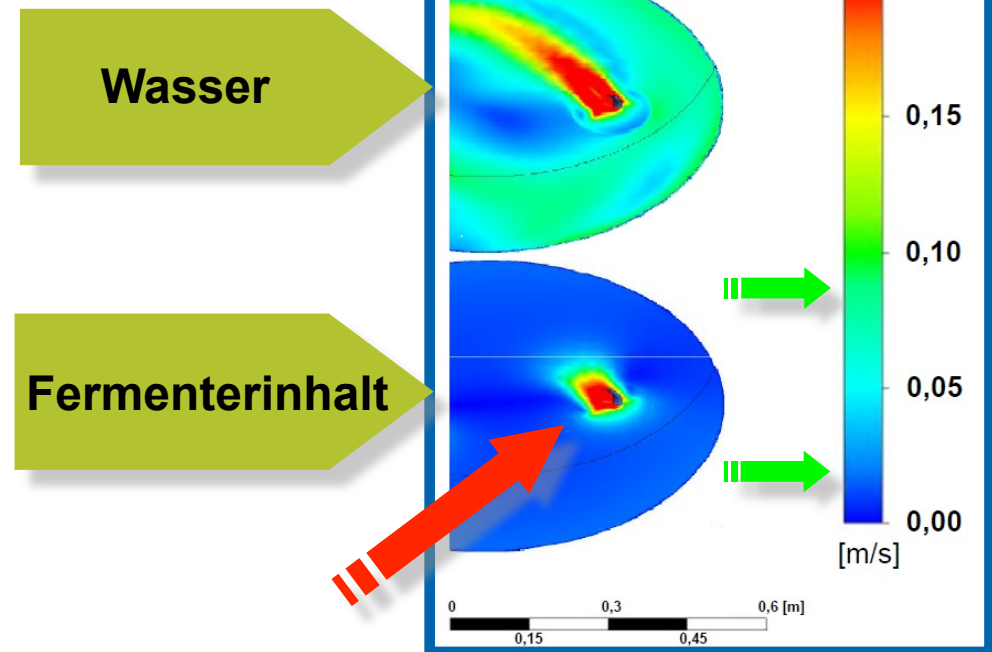
Druckverlustberechnung

- gute Übereinstimmung mit Messwerten

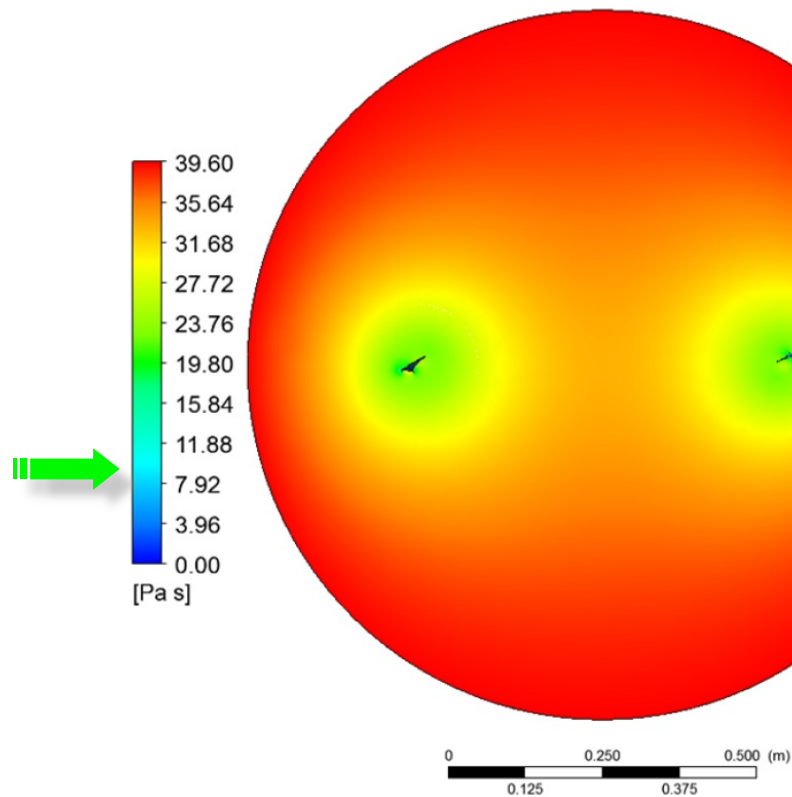


Simulation Rühraggregate

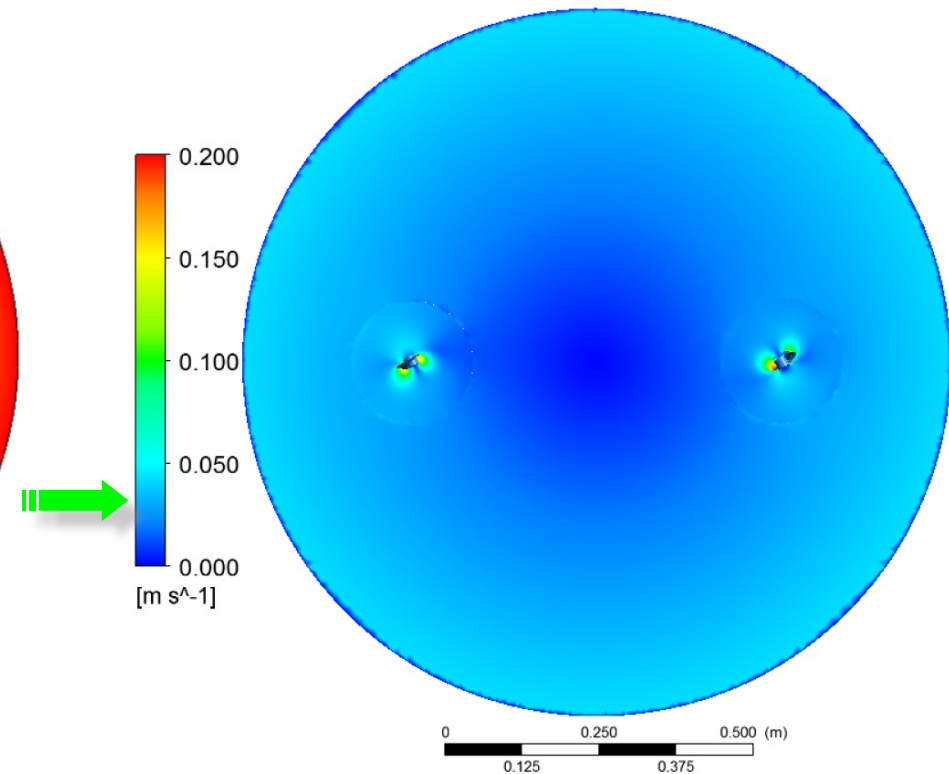
- starke lokale **Scherverdünnung**
- geringere globale **Strömungsgeschwindigkeit**



Simulation Rühraggregate



Viskositätsverteilung



**Stationäre
Strömungsgeschwindigkeiten**

Versuchsstand

- Messung von original Fermenterproben (keine Vorbehandlung)
- Messung bei Prozesstemperatur
- großer Schergeschwindigkeitsbereich

Auswertung

- Korrektur auf wahre Schergeschwindigkeit
- Approximation des Fließverhalten

Beurteilung

- globale Zuordnung des Fließverhaltens zu
 - oTR, HRT, Substratart, ... nicht möglich
- gefundene rheologische Daten eignen sich für
 - Druckverlustberechnung
 - Strömungssimulation

Praktische Relevanz

- simulative Erprobung von Rührwerksgeometrien
 - Optimierung der Rührwerksverortung durch Simulation
 - Substratangepasste Rührwerke
-
- Parameter zur Fütterungssteuerung
 - Hilfsmittel zur Überwachung des Prozessstatus
 - Anpassung der Rührwerkeleistungen
 - Einfluss von Vor- und Zwischenbehandlung (z.B. Desintegration) auf die Fließfähigkeit

Koll, Christian (2012): Aufnahme, Auswertung und Beurteilung rheologischer Parameter zur Auslegung und Simulation von Fördereinheiten sowie Rühraggregaten in Biogasanlagen.

Online verfügbar unter: <http://serwiss.bib.hs-hannover.de/frontdoor/index/index/docId/386>

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

